

3 • Inondations et canicules menacent les réacteurs

En France, les centrales nucléaires doivent être préparées à résister à deux aléas climatiques particuliers : les inondations et les canicules. Des événements capables de frapper le talon d'Achille des installations, leur système de refroidissement.

PAR **Xavier Müller**, journaliste scientifique.

Le 27 décembre 1999, les vents violents de la tempête Martin soufflent sur le littoral bordelais. L'eau de mer franchit les digues de la centrale nucléaire du Blayais, dans l'estuaire de la Gironde, et s'insinue dans les galeries techniques souterraines. Les réacteurs sont aussitôt arrêtés par EDF, mais le mal est fait : des systèmes électriques sont hors service, en particulier deux des quatre circuits de refroidissement du réacteur n° 1, ceux-là mêmes qui empêchent la fusion du combustible. Comme la centrale dispose toujours d'électricité, les opérations de pompage commencent rapidement, écartant le spectre d'un accident majeur. Elles dureront des semaines. L'incident sera classé au niveau 2 de l'échelle de gravité INES*.

L'ÉCHELLE INES est l'échelle internationale de gravité des incidents ou accidents nucléaires. Elle compte 8 niveaux, classés de 0 à 7.

L'essentiel

- > SUR LES 19 CENTRALES nucléaires françaises, 14 sont placées le long de fleuves susceptibles d'entrer en crue.
- > EN CAS DE RISQUE DE GRANDES EAUX, un système d'alerte prévoit le plein des groupes électrogènes de secours de la centrale et le remplissage des réserves d'eau servant de refroidissement d'appoint.
- > EN CAS DE CANICULE, la centrale peut être arrêtée, et l'électricité achetée à l'étranger.

L'inondation est un des risques majeurs auxquels les centrales nucléaires doivent être préparées. Et pour cause. Pour refroidir leurs réacteurs, ces installations utilisent des quantités phénoménales d'eau (40 mètres cubes par seconde et par réacteur), ce qui les place nécessairement au bord d'un fleuve ou de la mer. Cette dépendance à l'eau leur fait courir d'autres risques : celui de l'assèchement du fleuve, de la présence de débris végétaux dans les grilles de filtrage, ou encore du gel. Avec le réchauffement climatique, certaines de ces agressions naturelles risquent d'être plus sévères. Le parc nucléaire français est-il prêt à affronter ces menaces ?

Alimentation électrique. En cas d'inondation, les centrales courent le risque de voir leur système de refroidissement des réacteurs s'arrêter. Soit parce que l'eau a fait disjoncter directement le système de refroidissement, soit parce qu'elle a coupé l'alimentation électrique. Le cas le plus grave survient lorsque toutes les sources d'alimentation électrique de la centrale sont en berne (chaque centrale est alimentée par deux lignes à haute tension et trois systèmes de secours, groupes électrogènes ou turbine à combustion). Bilan : l'arrêt total et surtout durable du refroidissement des réacteurs. Une situation extrême à laquelle aucune centrale ne peut résister. En 2006, le CEA et l'IRSN décrivaient dans un rapport d'accidentologie les conséquences d'une telle catastrophe : « *Le combustible s'échauffe progressivement (...). Une réaction exothermique d'oxydation des gaines de combustible par la vapeur d'eau se produit, menant à une production importante d'hydrogène et de puissance thermique. (...) Sous l'effet de l'échauffement, les produits de fission les plus volatils, puis les produits de fission semi-volatils sont relâchés par le combustible.* »

Or le risque d'inondation est présent en France. Sur 19 centrales nucléaires, 14 sont placées le long de fleuves susceptibles d'entrer en crue. Le Rhône et la Loire, qui quittent régulièrement leur lit pour envahir la plaine environnante, sont ainsi tous deux jalonnés de quatre centrales. Sur le littoral, la conjonction d'une marée exceptionnelle



Des digues sont rehaussées autour de la centrale nucléaire du Blayais, en Gironde. Celle-ci avait été inondée par l'eau de mer lors de la tempête du 27 décembre 1999. © DERRICK CEYRAC/AFP

et de forts vents peut pousser la mer sur la côte, comme l'a rappelé la tempête Xynthia en 2010. Cinq des 19 centrales françaises, tournées vers le large, sont soumises à ce risque d'inondation. Située dans un estuaire, la centrale du Blayais est exposée à la fois à l'invasion marine et aux crues, même si l'année dernière, les digues qui la protègent ont réussi à contenir les hautes vagues soulevées par Xynthia.

Pour protéger une centrale des humeurs d'un fleuve, les ingénieurs d'EDF ont recours à des simulations numériques qui permettent d'estimer la hauteur des digues de protection nécessaires. « Ils partent du débit de la crue millénale du fleuve majoré de 15 %, puis calculent les niveaux d'eau autour de la centrale à l'aide d'une modélisation numérique des écoulements », décrit Vincent Rebour, spécialiste du risque d'inondation à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. La crue millénale est une crue qui a la possibilité de se produire une fois tous les mille ans. Elle est calculée de façon statistique à partir de l'historique de niveau des fleuves.

Hauteur des digues. Pour les sites en bord de mer, les ingénieurs évaluent le niveau marin extrême en additionnant le niveau de la marée maximal et la surcote millénale dues aux tempê-

tes. Cette dernière est déduite d'études statistiques des niveaux marins observés. Selon Vincent Rebour, ce calcul devra à l'avenir mieux tenir compte du réchauffement climatique, qui entraîne une hausse du niveau de la mer que certains spécialistes estiment à environ un mètre d'ici un siècle. En particulier, « la hauteur des ouvrages de protection devra être à nouveau interrogée tous les dix ans, lors de l'examen décennal de la centrale » [1].

À la suite de l'incident du Blayais, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), qui contrôle la sûreté nucléaire française, a demandé à EDF de revoir ses mesures de protection contre les inondations. Juste après l'incident en 1999, « nous lui avons notamment demandé de surélever la digue de protection, d'étanchéifier les bâtiments de la centrale et de prévoir des systèmes de pompes mobiles », explique Thomas Houdré, responsable des centrales nucléaires à l'ASN. Des exigences similaires ont concerné d'autres centrales comme celle de Bugey, de Cruas et de Belleville. En complément de ces mesures, EDF a mis en place depuis plusieurs années un système d'alerte inondation avec Météo-France qui prévoit, en cas de risque de grandes eaux près d'une centrale, le plein en fuel des groupes électrogènes de secours et le remplissage des réserves d'eau servant de refroidissement d'appoint. >>>

Inondations et canicules menacent les réacteurs



La Loire, près de laquelle est installée la centrale de Dampierre-en-Burly, est régulièrement en crue. © ANDRÉ DURAND/AFP

>>> « Ces mesures ne suffiront pas à se prémunir contre des événements imprévus comme celui de décembre 2009, à Cruas, en Ardèche », estime Roland Desbordes, le président de la Criirad. La crue du Rhône avait alors provoqué l'afflux soudain de 50 mètres cubes d'algues sur les énormes

grilles qui filtrent l'eau du fleuve afin d'alimenter les systèmes de refroidissement. À la suite de quoi le réacteur n° 4 de la centrale avait été privé complètement de sa source de refroidissement durant dix heures. Au final, l'incident, placé au niveau 2 sur l'échelle INES, avait été le plus grave des événements liés à une perte de refroidissement, dans l'histoire du nucléaire français.

Par ailleurs, Roland Desbordes juge illusoire les tentatives de prédire le comportement d'un grand fleuve lors d'une crue millénaire : « *Le Rhône n'est pas un fleuve maîtrisé, il existe énormément de barrages dessus.* » Comme pour lui donner raison, le rapport d'activité 2010 de l'ASN pointait que « *la sûreté de certaines installations (d'EDF) vis-à-vis de l'inondation externe dépend largement du comportement d'ouvrages extérieurs qui n'appartiennent pas à EDF, notamment pour les centrales nucléaires de Cruas-Meysse et du Tricastin* ».

Marge de sécurité. La centrale du Tricastin est située le long d'un canal d'alimentation en eau d'une usine hydroélectrique exploitée par la Compagnie nationale du Rhône (CNR). Or les ouvrages de CNR ont été conçus dans les années 1950, à une époque où les niveaux maximaux d'inondation étaient fondés seulement sur la crue millénaire, sans la marge de sécurité de 15 %. Autrement dit, la centrale du Tricastin et le canal (les digues

du canal et les vannes par lesquelles l'eau arrive) ne sont pas prévus pour résister aux mêmes crues. Les deux entreprises seraient conscientes du problème, mais se renverraient le financement des travaux de mise en sécurité du canal.

Les centrales situées à l'intérieur des terres craignent un risque climatique supplémentaire par rapport à celles du bord de mer : l'interruption de l'écoulement du fleuve qui alimente leur système de refroidissement. Un été particulièrement chaud peut en être la cause. Le risque n'est alors pas humain, mais environnemental. En temps normal, le système de refroidissement pompe l'eau de la mer, l'utilise pour refroidir les réacteurs puis rejette l'eau réchauffée dans l'environnement. Mais en cas de canicule, les eaux de refroidissement sont prélevées en plus petite quantité, elles sortent plus chaudes de la centrale que d'ordinaire, avec la possibilité de dégâts sur la faune et la flore (des normes fixent pour chaque centrale l'échauffement toléré des eaux, qui est de l'ordre de un à plusieurs degrés). De façon exceptionnelle, l'assèchement des voies d'eau peut également survenir lors d'un hiver rigoureux : en 1987, le réacteur de la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux, sur la Loire, a été arrêté en urgence, son refroidissement était devenu impossible en raison du gel du fleuve. La glace entravant les entrées d'eau avait été finalement brisée par l'armée à coups d'explosifs.

D'après un rapport rédigé sous la direction du climatologue Jean Jouzel et remis à la ministre de l'Environnement en janvier dernier, le risque de dommages écologiques liés à l'assèchement des fleuves pourrait s'accroître au cours du XXI^e siècle : « *Sur l'ensemble des stations (des sites)*

« Toutes les options énergétiques disponibles posent des

Trois questions à Patrick Lagadec, du laboratoire d'économétrie, au département d'économie de l'École polytechnique, à Palaiseau.

Fukushima a montré la vulnérabilité des centrales nucléaires face au cumul d'aléas climatique et sismique. Ce cumul est-il vraiment imprévisible ?

P.L. Le point clé n'est pas de fixer par avance sur le papier tous les phénomènes imprévisibles, mais d'être préparé à penser, discuter et choisir des situations de crises qui sortent de plus en plus de

modèles fermés et stables. Il va falloir revoir profondément nos manières de gérer les crises en raison de l'échelle des systèmes techniques (génie génétique, nucléaire...) et de leurs risques, des interdépendances étroites et globalisées, et de la fragilisation structurelle de nos environnements.

Face à des situations à risques extrêmes, le nucléaire pose-t-il des problèmes spécifiques ?

P.L. À l'évidence, le nucléaire présente de lourdes spécificités, notamment en termes de risques délétères à grande

échelle et sur de très longues durées – risques impossibles à exclure. Mais ne nous leurrions pas, toutes les options énergétiques disponibles posent des questions de sécurité : le charbon a des effets massifs sur le climat, les barrages posent des interrogations telles que celles des risques en aval, du déclenchement de séismes. Il y a enfin le spectre de déséquilibre structurel en cas de réduction brutale de l'offre énergétique. Nos sociétés étant totalement dépendantes de l'énergie, une telle réduction pourrait avoir des effets paralysants, voire provo-



Pendant la sécheresse de l'été 2003, la centrale nucléaire de Chooz a été mise à l'arrêt : la Meuse n'avait plus un débit suffisant pour garantir un refroidissement correct des réacteurs. © PATRICK ALLARD/RÉA

analysées, les débits caractéristiques des étiages (les basses eaux) sévères baisseraient fortement [2]. » Du côté d'EDF, on pense avoir tiré les leçons de la canicule de 2003, pendant laquelle l'entreprise avait obtenu des dérogations pour rejeter de l'eau anormalement chaude dans les fleuves.

« EDF a mis en place dès la fin de l'hiver 2004 un dispositif de veille et d'alerte, qui permet une gestion prévisionnelle prudente des stocks des barrages hydrauliques », assure Jean-Marc Miraucourt, directeur à la division ingénierie nucléaire d'EDF. L'idée est d'arrêter les centrales menacées par l'assèchement au profit soit des sources d'électricité hydroélectriques, soit des centrales en bord de mer. Un mode de gestion de crise qui explique pourquoi les réacteurs de la vallée de la Loire sont souvent arrêtés l'été.

Plan anticanicule. Diverses autres mesures figurent au « plan anticanicule » d'EDF : achat d'électricité sur les marchés de gros, négociation avec certains clients industriels de façon à ce qu'ils réduisent ponctuellement leur consommation électrique, et utilisation de tours aéroréfrigérantes qui divisent par dix le besoin en eau de refroidissement. Ainsi, depuis cinq ans, EDF

s'est dotée d'un projet, représentant un investissement de 400 millions d'euros, qui vise à améliorer la robustesse de ses centrales nucléaires vis-à-vis des épisodes caniculaires et du réchauffement climatique. Parmi les modifications apportées aux centrales figure le remplacement de tours aéroréfrigérantes afin d'augmenter leur capacité à produire du froid.

La vulnérabilité des centrales face aux risques d'inondations et de chaleurs écrasantes pose la question du refroidissement des réacteurs. Pour Jean-Marie Brom, physicien nucléaire et porte-parole du réseau Sortir du nucléaire, c'est le véritable talon d'Achille du nucléaire. « Je crains que l'enquête commanditée par la ministre de l'environnement à la suite de la catastrophe de Fukushima ne se contente d'évaluer les probabilités des risques sismiques et d'inondations sans s'intéresser à la vraie question : de combien de temps dispose-t-on pour rétablir le refroidissement d'un réacteur si jamais il s'arrête complètement ? » De fait, pendant plusieurs jours après son arrêt, un réacteur continue de dégager une chaleur d'environ un mégawatt, soit celle d'un réacteur d'avion. C'est cette chaleur non évacuée qui a causé le drame de la centrale de Fukushima au Japon.

À l'ASN, on déclare avoir pris conscience du problème. « Nous allons demander à EDF de faire le bilan de toutes les ressources en eau dont chaque centrale dispose pour savoir combien de temps elle peut tenir en autonomie complète », annonce Thomas Houdré. Les centrales nucléaires ont une soif inextinguible. Les risques climatiques ne font que mettre en lumière cette spécificité. ■

[1] A. Grinsted et al., *Climate Dynamics*, 34, 461, 2009.
[2] <http://tinyurl.com/scenario-climat>

questions de sécurité »

quer des morts en cas de canicule ou de grand froid. On pourrait alors assister à des effets pervers de la recherche d'économie d'énergie, comme l'installation de groupes électrogènes dans les appartements ou celle de batteries au plomb. Sans négliger des tensions sociétales aiguës en raison aussi bien d'oppositions au nucléaire ou à d'autres installations que du refus par d'autres de mutations drastiques en termes de style de vie : tout le monde est-il prêt à rouler moins avec sa voiture, à éteindre chez soi ses appareils électriques en

veille, etc. ? Ces questions n'interdisent rien. Elles montrent seulement que l'éden énergétique n'existe pas.

Voyez-vous un moyen de sécuriser davantage le nucléaire ?

P.L. On peut et on doit toujours sécuriser davantage. Des sauts qualitatifs sont même possibles. Mais il serait mensonger de prétendre garantir un risque nul. Ces questions resteront des questions politiques, pour lesquelles il ne faut pas se réfugier derrière des diktats techniques. Le pilotage des choix industriels dans un uni-

vers où tous les secteurs sont interdépendants va devenir la grande question politique de notre civilisation du risque.

■ **Propos**
recueillis par
X.M.

